

R & D Status of the Magnet System for ATF Damping Ring

Kazumi EGAWA, Junji URAKAWA, Hisayoshi NAKAYAMA

KEK, National Laboratory for High Energy Physics

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305

ABSTRACT

The ATF damping ring (DR) requires very strict conditions for the magnets system to realize a very low vertical normalized emittance less than 3×10^{-8} m and a fast damping time. To obtain such a low emittance, the ATF-DR adopted a combined FOBO lattice and damping wigglers. Specifications of the magnet system have been almost fixed and some R&D magnets, which are a damping wiggler, a combined bending, quadrupoles and a sextupole magnet, have been manufactured and are waiting for precise field measurements. R&D status of these magnets are described.

ATFダンピングリングの電磁石の開発

1. はじめに

TeV領域の物理を行なうリニアコライダの建設に必要な色々な知識を得るために、ATF (Accelerator Test Facility)の建設が現在進められている。リニアコライダは非常にエミッタンスの小さなビームを必要とする。ATF-DRはこの超低エミッタンスビームを供給するダンピングリングの開発研究用のテスト装置であるとともに、実際に低エミッタンスビームを作り出しそれをリニアコライダ用の加速管に供給し種々のテスト実験が行なわれる予定である。

3×10^{-8} m以下の超低エミッタンスと早いダンピングタイムを実現するために、ATF-DRの磁石には非常に厳しい条件が要求される。ATF-DRで使用されるほとんどの磁石について基本的な設計は終わりほぼ仕様は確定した。現在ダンピングウイグラー、コンバインドタイプ偏向電磁石、四極及び六極電磁石の試作が完成し精密な磁場測定を待っているところである。

2. ダンピングウイグラー

超低エミッタンスと早いダンピングタイムを実現するには強い磁場と短い周期のダンピングウイグラーが必要になる。強い磁場を生じるにはコイルまたは磁束源となる永久磁石材のためのより大きな空間を必要とするため短い周期の実現が困難になる等、上記の2つの条件の両立は難しい。エミッタンスへのウイグラーの効果を詳細に調べた結果、 η' からの項が主でウイグラー各鉄芯間の自

由空間は最低次の近似ではエミッタンスに影響しない事が分かり、ダンピングウイグラーの周期長に対する要求が随分緩和された。我々は周期長を0.4 mに選んだ。実際はウイグラーの磁場はビーム進行方向に対しサイン関数的で鉄芯間でも磁場はゼロでないため、正確なエミッタンスの評価は実際の磁場分布を取り入れたシミュレーションが必要である。

当初我々はダンピングウイグラーとして2通りの可能性を検討した。ひとつはサマリウムコバルト等の非常に強い磁場を生じさせる永久磁石材を磁束源として使用するハイブリッドタイプの磁石で他はコンパクトなコイルを持った電磁石である。両案とも2次元の磁場計算では最大磁場 B_{peak} 、有効磁場 B_{eff} ともに2 T以上が得られた。ここで B_{eff} は $B_{eff} = \sqrt{\langle B^2 \rangle}$ 、 $\langle \rangle$ はある量をウイグラーの全長で積分しそれを鉄芯長で割ったもので $\langle B^2 \rangle = \int B^2 ds / L_{pole}$ で定義される量である。ATF-DRのダンピングウイグラーとしては磁場の強さの調整の容易さを考慮して電磁石のオプションを選択した。また電流と到達磁場の効率を考慮して B_{peak} 、 B_{eff} ともに1.8 T程度を目標とした。ダンピングウイグラーのパラメーターを表1に、その概念図及び断面図を図1、2に示す。

表1

total length	2.1 m	one period	0.4 m
full gap	20 mm	current/pole	20 kA
B_{peak}	~1.8 T	B_{eff}	~1.8 T

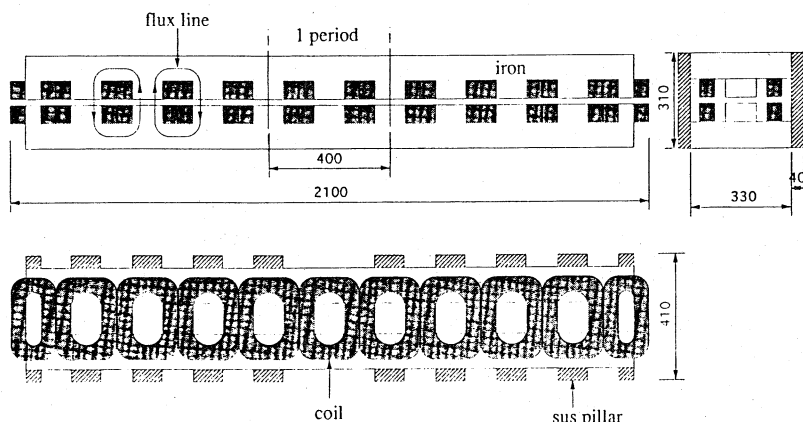


図1 ダンピングウイグラー概念図

簡単な磁場測定の結果、試作機の B_{peak} は2次元の磁場計算の予想値より1割強小さかった。実機では磁場をできるだけ上げるために鉄芯幅を広げる等の改良を加える予定である。また3次元の磁場計算を行ない磁場の到達値を正確に評価するつもりである。また磁場分布、磁場の積分値等の測定については現在準備中である。

3. コンバインドタイプ偏向電磁石

(以下コンバインドバンドと略す。)

ATF-DRのコンバインドバンドは2極、4極両方の磁場成分を主成分として持ち、偏向磁場が負の磁場勾配を持っている。この磁石を導入することでダンピングパーティションナンバーの式に現われるDという量を負にすることによりエミッタンスを小さくしている。コンバインドバンドのパラメーターを表2に、その断面図を図3に示す。

表2

effective length	1.0 m	central gap	g	32 mm
dipole field	B_0	0.9 T	field gradient	B' -6.1222 T/m
bending radius	ρ	5.73 m	(for a 1.54 GeV/c beam)	

この磁石中でのビーム軌道のサジッターが22 mmにもなるためコンバインドバンドはセクター型とした。円筒座標でポワソン方程式を解くことにより、Log関数を含む次式で記述される磁極形状が得られる。

$$\{B' \rho / B_0 \ln(1+x/\rho) + 1\} y = g / 2$$

$x = 0$ at the pole center

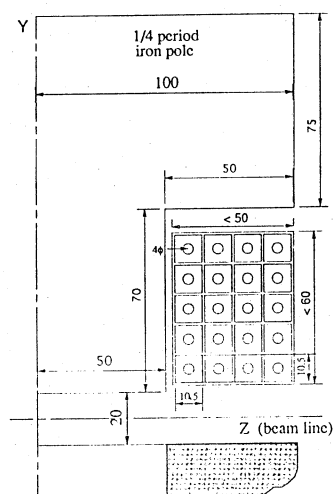


図2 ダンピングウイグラー断面図

2次元の磁場計算プログラムPOISSONを用い、コイル位置の磁場形状への影響、加工誤差の影響等を調べまた磁極形状の微調整を行なった。ビーム軌道解析から要請される磁場精度を達成するためには20 μ m程度の加工精度が要求されるが、試作機は機械的精度としたはこの条件を満足している。磁場精度の確認は現在準備中である磁場測定を待たねばならない。2極及び4極磁場の分布、積分値の測定は、この磁石がセクター型であるという事情のため工夫が必要となるが、現在それらを考慮して磁場測定装置を考案中である。

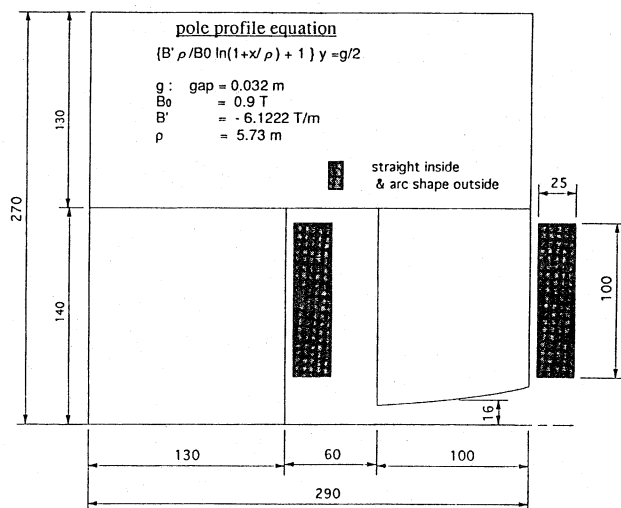


図3 コンバインドバンド断面図

4. 四極電磁石

超低エミッタンスリングのラティス設計では、一般に水平方向のベータatron振動数を大きくするため、アーク部のセル数が多くなり磁極長の短い強い四極電磁石が必要になる。ATFダンピングリングでは、ボア半径が16mmで磁極長が6cm又は18cmの四極電磁石を100台程度使うことになっている。そこで、昨年度試作電磁石として以下の仕様の四極電磁石を2台製作した。

Pole Length 60mm	
Current/pole 5576 AT	Current/pole 6000 AT
Max. Field Strength 52T/m	Max. Field Strength 55T/m

四極電磁石の磁場精度は、ビームトラッキングの結果12mmφの空間内で四極成分の一様性として0.1%以内にしなければならない。これから要求される磁極の加工精度は30μm、磁極の組み立て精度も30μmである。また、ATFダンピングリングの目標である垂直方向エミッタンスを達成するためには、各磁石を垂直方向で30μm(1σ)の設置精度でアライメントしなければならない。そのため、磁極面に対して20μmの精度で磁石上部に基準面を作った。真空チェンバーを挿入するとき磁石を上下に分割するため、磁石を元の状態に戻した時、ロックピン等によって位置決め精度が再現できるように製作した。試作電磁石の加工精度は20μmで行われ、満足する結果が得られた。磁場分布の測定結果の一例を図4に示す。磁場強度は一割程度弱い、磁場強度の積分値はほぼ満足する値に成っている。

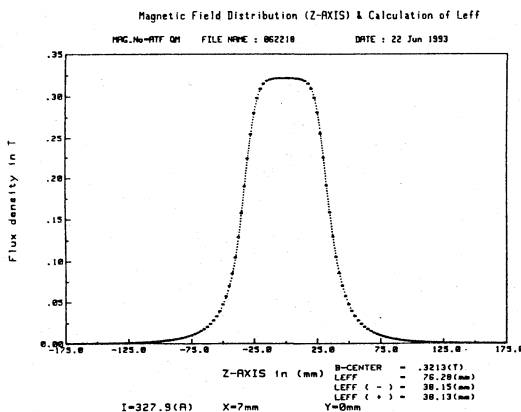


図4 四極電磁石の磁場分布

5. 六極電磁石

コンバインドバンド及び前項で述べた強い四極電磁石を多く使用するため、リングの周長が約140mであるにもかかわらず大きなクロマチシティが発生

する。これを補正するために、磁極長の短い強い六極電磁石が必要になる。ATFダンピングリングでは、ボア半径が16mmで磁極長が6cmの六極電磁石を70台程度使うことになっている。そこで、昨年度試作電磁石として以下の仕様の六極電磁石を1台製作した。

Current/pole 3900 AT

Max. Field Strength 6000T/m²

六極電磁石の加工及び位置決め精度は四極電磁石と同じである。また、設置に関しても四極電磁石と同じように行なう。一般に六極電磁石の磁場精度及び設置精度は四極電磁石の場合よりも厳しいが、これらに関する前項の四極電磁石の要求仕様が約2倍弱程度厳しく決めてあるので、前項の四極電磁石の要求仕様が六極電磁石に必要な仕様である。これは加工精度および組み立て精度を同一にした方がアライメント等の取り扱いが統一できると考えたこととコスト面でも差がないと判断したからである。試作電磁石の加工精度は20μmで行われ、満足する結果が得られた。磁場分布の測定結果の一例を図5に示す。磁場強度は一割程度弱い、磁場強度の積分値はほぼ満足する値に成っている。

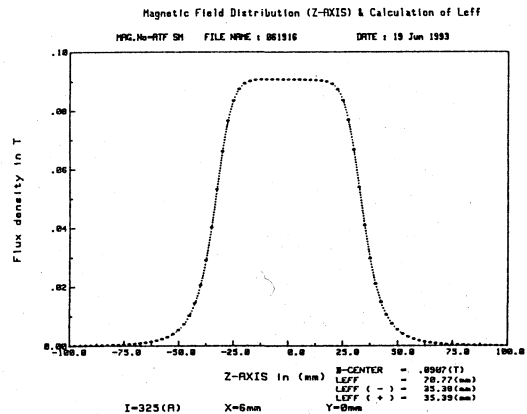


図5 六極電磁石の磁場分布

6. 今後の方針

試作電磁石の精密磁場測定を出来るだけ早く行ない、その結果を実機にフィードバックしたい。またATFダンピングリングでは各磁石の間隔が狭いことから、他の磁石との磁場の干渉が心配されているので、それらも実測する予定である。

7. 謝辞

四極電磁石及び六極電磁石の磁場測定を自主的に進めて下さった三菱電機神戸製作所及び(株)トーキンの方々に深く感謝致します。